

ARKADIUSZ NOWAK^{a, 1, 2}, ZYGMUNT KĄCKI^{b, 2}, PAWEŁ KOJS¹, GRAŻYNA SZYMCZAK^{c, 3}, MICHAŁ WĘGRZYN^{d, 4}, JUSTYNA WILAND-SZYMAŃSKA^{e, 5, 6}, MARCIN ZYCH^{f, 7}

^a [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-8638-0208](https://orcid.org/0000-0001-8638-0208)

^b [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-2241-1631](https://orcid.org/0000-0002-2241-1631)

^c [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-2670-057X](https://orcid.org/0000-0002-2670-057X)

^d [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-7638-4803](https://orcid.org/0000-0001-7638-4803)

^e [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-1916-7201](https://orcid.org/0000-0002-1916-7201)

^f [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0001-6961-069X](https://orcid.org/0000-0001-6961-069X)

1

Polska Akademia Nauk Ogród Botaniczny – Centrum Zachowania Różnorodności Biologicznej, Polish Academy of Sciences Botanical Garden – Centre for Biological Diversity Conservation in Powsin
Prawdziwka Str. 2, 02-976 Warszawa, Poland
e-mail: arkadiusz.nowak@ob.pan.pl

2

Ogród Botaniczny Uniwersytetu Wrocławskiego,
Botanical Garden of the University of Wrocław,
Sienkiewicza Str. 23, 50-335 Wrocław, Poland

3

Ogród Botaniczny Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
Botanical Garden of the Maria Curie-Skłodowska University in Lublin
Sławinkowska Str. 3, 20-810 Lublin, Poland

4

Ogród Botaniczny Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Instytut Botaniki
Botanical Garden of the Jagiellonian University in Kraków, Institute of Botany
Gronostajowa Str. 3, 30-387 Kraków, Poland

5

Zakład Botaniki Systematycznej i Środowiskowej, Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu
Department of Systematic and Environmental Botany,
Adam Mickiewicz University, Poznań
Uniwersytetu Poznańskiego Str. 6, 61-614 Poznań, Poland

6

Ogród Botaniczny Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu
Botanical Garden, Adam Mickiewicz University
Dąbrowskiego Str. 165, 60-594 Poznań, Poland

7

Ogród Botaniczny Uniwersytetu Warszawskiego, Wydział Biologii
Botanic Garden, Faculty of Biology, University of Warsaw
Aleje Ujazdowskie 4, 00-478 Warsaw, Poland.

Uprawa nauki w ogrodzie – polskie ogrody botaniczne jako multidyscyplinarne klomby doskonałości badawczej w XXI wieku

Growing science in the garden – polish botanical gardens as multidisciplinary lots of research excellence in the 21st century

https://doi.org/10.36921/kos.2023_2935

Abstrakt

Polskie ogrody botaniczne należą do wiodących krajowych ośrodków badawczych w takich dyscyplinach jak botanika konserwatorska, anatomia roślin, biologia zapylania, geobotanika, fitosocjologia, ekologia, mikologia czy etnobotanika. Pracownicy sześciu ogrodów botanicznych wybranych do oceny efektywności naukowej opublikowali łącznie 2118 artykułów w latach 2001–2022, w tym 529 artykułów w czasopismach wymienionych w podstawowej zestawieniu Web of Science, 460 innych recenzowanych artykułów naukowych, 315 artykułów popularnonaukowych, 78 monografii naukowych, 218 rozdziałów w monografiach naukowych, 24 monografie popularnonaukowe, 450 publikacji konferencyjnych, a także opracowali 44 noty encyklopedyczne. Prace te były często publikowane w renomowanych i wysoko ocenianych czasopismach, takich jak *Pharmaceutical Biology*, *Taxon*, *Journal of Applied Genetics*, *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, *Journal of Vegetation Science*, *Botanical Journal of the Linnean Society*, *Plant and Cell Physiology*, *Ecology*, *Journal of Biogeography*, *New Phytologist*, *Catena*, *Biological Reviews*, *Persoonia – Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, *The Botanical Review*, *Agriculture*, *Annals of Missouri Botanical Garden*, *Journal of Hazardous Materials*, *Science of the Total Environment*, *American Journal of Botany*, *Ecosystems & Environment* i wielu innych. Co więcej, ogrody botaniczne to miejsca, w których badania prowadzone są na oczach tysięcy odwiedzających, co czyni je niezwykle skutecznymi w rozpowszechnianiu nauki i wyników badań. Bez ogrodów botanicznych nie jest możliwe zachowanie różnorodności florystycznej i zapewnienie przyszłym pokoleniom dostępu do bogatego i zdrowego środowiska naturalnego.

Słowa kluczowe: ogrody, badania naukowe, rozwój, doskonałość, botanika, biologia

Abstract

Polish botanic gardens are among the leading national research centres in disciplines such as conservation botany, plant anatomy, pollination biology, geobotany, phytosociology, ecology, mycology or ethnobotany. The staff of the six botanical gardens selected for the scientific effectiveness assessment published a total of 2118 papers between 2001 and 2022, including 529 articles in journals listed in the Web of Science core collection, 460 other peer-reviewed scientific papers, 315 popular science articles, 78 scientific monographs, 218 chapters in scientific monographs, 24 popular science monographs, 450 conference publications and compiled 44 encyclopaedic notes. These works were often published in reputable and highly profiled journals, such as *Pharmaceutical Biology*, *Taxon*, *Journal of Applied Genetics*, *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, *Journal of Vegetation Science*, *Botanical Journal of the Linnean Society*, *Plant and Cell Physiology*, *Ecology*, *Journal of Biogeography*, *New Phytologist*, *Catena*, *Biological Reviews*, *Persoonia – Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, *The Botanical Review*, *Agriculture*, *Annals of Missouri Botanical Garden*, *Journal of Hazardous Materials*, *Science of the Total Environment*, *American Journal of Botany*, *Ecosystems & Environment* and many others. Moreover, botanical gardens are sites where research is conducted in front of thousands of visitors, making them extremely effective in disseminating science and research results. Without botanic gardens, it is not possible to effectively and modernly conserve floristic diversity and ensure that future generations have access to a rich and healthy natural environment.

Keywords: gardens, research, development, excellence, botany, biology

WSTĘP

Ogrody botaniczne powszechnie kojarzone są z kolekcjami rozmaitych gatunków i odmian roślin, rekreacją i ciekawymi wydarzeniami związanymi z botaniką (np. wydarzenia artystyczne, sportowe, kulturalno-edukacyjne). Zgodnie z powszechnie przyjętą definicją ogród botaniczny to miejsce posiadające udokumentowane kolekcje żywych roślin dla celów naukowych, konserwatorskich, rekreacyjnych i edukacyjnych (Jackson i Kennedy 2009). Jednak nawet w środowisku akademickim nierzadko zdarzają się opinie, że badania naukowe prowadzone w ogrodach botanicznych nie mają wiele wspólnego z nowoczesnymi i potrzebnymi poszukiwaniami odpowiedzi na pytania nurtujące społeczeństwa XXI wieku. Jest to być może pokłosie okresu zmniejszenia rangi badań taksonomicznych, fitogeograficznych czy anatomicznych pod koniec XX w., kiedy nastąpił intensywny rozwój biologii molekularnej. A jednak, mimo wielu dekad zaniedbań w finansowaniu nauki w Polsce i pomijania ogrodów w grupach docelowych beneficjentów grantów naukowych, teza, że ogrody botaniczne są skansenem klasycznych, opisowych nauk botanicznych jest jednoznacznie fałszywa. Na przykładzie sześciu wybranych, wiodących w Polsce ogrodów, które prowadzą od lat badania naukowe, wykażemy, że zespoły badawcze tych jednostek są liderami w swoich dyscyplinach i dokonują przełomowych odkryć w zakresie nauk przyrodniczych. Rola naukowa ogrodów jest podstawą funkcjonowania tych instytucji od początku ich tworzenia, zarówno w odniesieniu do nauk podstawowych, jak i aplikacyjnych. Ostatnie dekady spowodowały, że kosztowne eksperymenty i projekty najczęściej przeniesione zostały do wysoko wyspecjalizowanych instytutów badawczych, ale ogrody wciąż odnoszą sukcesy na polu nauk podstawowych i aplikacyjnych, np. ochrony różnorodności życia, tak jak to było od początków ich powstania (np. Hill 1915). Górnolotnie można by powiedzieć, że od jutrzeńki naszej cywilizacji, człowiek dostał pod opiekę Ogród Edenu, jako piękne, bezpieczne, bogate w gatunki, zasobne w surowce miejsce do życia i chronienia (Nowak i współaut. 2022). Żeby jednak ogrodowi świata skutecznie zapewnić bezpieczeństwo, trzeba go najpierw dobrze poznać. Cel ten realizują z sukcesami m.in. zespoły badawcze ogrodów botanicznych.

Ogrody od stuleci były kolebką badań botanicznych. Powstawały najczęściej jako miejsca rekreacji władców z funkcją głównie ozdobną i wypoczynkową, ale także jako miejsca uprawy i aklimatyzacji roślin użytkowych, głównie leczniczych i przyprawowych, nierzadko przy instytucjach badawczych

i edukacyjnych (Hill 1915, Werblan-Jakubiec i Zych 2007). Ogrody są unikatowymi, zagospodarowanymi i zabezpieczonymi przestrzeniami, gdzie badacze znajdują idealne warunki do realizacji swoich projektów (Chen i Sun 2018, Primack i współaut. 2021). Jednostki te bardzo często dysponują danymi botanicznymi, fenologicznymi i klimatycznymi z bardzo długiego okresu ich funkcjonowania, co daje możliwości przeprowadzenia wiarygodnych analiz dotyczących zmian klimatycznych i ich wpływu na szatę roślinną (Primack i współaut. 2021). Podstawowe metody prowadzenia upraw, opracowane przed wiekami, są nadal z powodzeniem stosowane w projektach badawczych. Dlatego tak ważna w tej materii jest współpraca pomiędzy ogrodnikami mającymi wiedzę i doświadczenie w uprawie roślin, a naukowcami szukającymi rozwiązań dla problemów badawczych, których wyjaśnienie jest możliwe tylko podczas długoterminowych doświadczeń. Szczególnie przedsięwzięcia z zakresu biologii konserwatorskiej, związane często z tworzeniem kolekcji zachowawczych gatunków chronionych i zagrożonych wymarciem, bazują na wiedzy zdobywanej przez lata doświadczeń w ogrodach botanicznych. Także krioprezerwacja materiału roślinnego jest możliwa dzięki klasycznym metodom stosowanym od dawna przez fizjologów roślin. Tylko dzięki typowo ogrodniczym procedurom badawczym jest możliwe w ogóle myślenie o skutecznej ochronie gatunków, których przecież aż ok. 40% uznawanych jest za zagrożone na świecie (Mounce i współaut. 2017, Antonelli i współaut. 2020). Warto także wspomnieć, że ogrody botaniczne są dogodnym miejscem całorocznych obserwacji roślin bardzo rzadkich, które często pochodzą z niedostępnych miejsc, gdzie trudno prowadzić stały monitoring ich rozwoju, biologii czy odpowiedzi na czynniki zewnętrzne (Primack i współaut. 2021). Jednakże ochrona *ex situ* czy krioprezerwacja nasion, zabezpieczanie sekwencji DNA i tkanek, to tylko niewielka część aktywności współcześnie funkcjonujących zespołów badawczych w ogrodach botanicznych. Zakres dyscyplin jest znacznie bardziej rozległy i tylko w przypadku wiodących polskich ogrodów botanicznych zawiera m.in. taksonomię, systematykę, botanikę konserwatorską, anatomię, fizjologię nasion, biotechnologię, biologię zapylania, filogenetykę, geobotanikę, fitosocjologię, florystykę, sozologię, ekologię, makroekologię, mykologię, fenologię, ekosemiotykę czy etnobotanikę. Ze względu na interakcje biologiczne pomiędzy roślinami i zwierzętami, na terenach tych jednostek prowadzone są także badania zoologiczne.

Nie bez znaczenia dla skuteczności studiów nad różnorodnością florystyczną jest także fakt, że ogro-

dy botaniczne są miejscem, w którym, w dobrym nastrój spotykają się naukowcy bardzo różnych profesji, w tym m.in. ogrodnicy, botanicy, zoolodzy czy klimatolodzy. W takim tygłu zawodów dochodzi do bardzo inspirujących interakcji i burz mózgów przynoszących ciekawe pomysły. A jeśli dodać do tego fakt, że ogrody botaniczne, w skali choćby Polski, odwiedzają miliony gości rocznie, można bez zbytniej przesady powiedzieć, że instytucje te są jednym z najważniejszych ośrodków nauki i edukacji społeczeństwa. Z ich misją, rolą i celami konserwatorskimi i społecznymi można bardziej szczegółowo zapoznać się w pracy Werblan-Jakubiec i Zycha (2007) oraz Zycha i współaut. (2023).

MATERIAŁ I METODY

Rolę ogrodów botanicznych w rozwoju współczesnej wiedzy biologicznej oceniono na podstawie analizy dorobku sześciu wiodących jednostek tego typu w kraju. Są to (kolejność od najstarszego):

- Ogród Botaniczny Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (OB UJ), założony w 1783 r. w centrum miasta, będący obecnie jednostką nienaukową w strukturach organizacyjnych Instytutu Botaniki Wydziału Biologii UJ. Ogród znajduje się od 1976 r. w rejestrze zabytków miasta Krakowa jako obiekt kultury i sztuki ogrodniczej. Ze względu na posiadanie na swoim terenie trzech dużych kompleksów szklarniowych, w tym dwóch palmiarni, posiada bardzo duże i stare kolekcje roślin tropikalnych. Należą do nich kolekcje sagowców, storczykowatych, paproci, kaktusów i sukulentów, roślin mięsożernych i użytkowych. Ogród Botaniczny UJ ma powierzchnię 9,6 ha. Zgodnie z wytycznymi Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Warszawie ogród pełni funkcję pomocniczą przy realizacji badań naukowych. Spośród pracowników sześć osób zajmuje się obecnie prowadzeniem badań na terenie ogrodu, ale także jest zaangażowanych w koordynację projektów realizowanych przez inne instytucje badawcze.
- Ogród Botaniczny Uniwersytetu Wrocławskiego (OB UWr), założony w 1811 r. na Ostrowie Tumskim, zaraz po utworzeniu uniwersytetu, jest do dzisiaj centrum dydaktyczno-badawczym. Ogród osadzony jest w strukturach Wydziału Nauk Biologicznych, jednak administracyjnie podlega bezpośrednio Rektorowi. Ogród składa się z jednostki centralnej we Wrocławiu i Arboretum w Wojsławicach koło Niemczy. W kolekcjach obu jednostek utrzymywanych jest ponad 22 tys. taksonów, 12 Kolekcji Narodowych, bogate zbiory sukulentów i roślin tropikalnych, unikatowe akwaria, a także bogate kolekcje dendrologiczne oraz gatunków chronionych i zagrożonych. Ogród ma Radę Naukową. Zajmuje powierzchnię 7,4 ha we Wrocławiu i 62 ha w Arboretum Wojsławice. Pracuje w nim pięciu pracowników na etatach naukowo-dydaktycznych, wchodzących w skład pracowni Ekologii Roślinności oraz Kultur Tkanekowych.
- Ogród Botaniczny Uniwersytetu Warszawskiego (OB UW), założony w 1818 r. dzięki staraniom profesora botaniki Michała Szuberta, obecnie w randze instytutu Wydziału Biologii UW. Jest położony na terenie dawnych Ogródów Królewskich, w północnej części Łazienek. Ogród składa się z części systematycznej i arboretum, oraz kolekcji roślin ozdobnych i użytkowych, ekologicznej oraz kolekcji roślin szklarniowych. Początkowo Ogród UW zajmował powierzchnię 22,5 ha, ale obecnie jest to 5,16 ha. Od roku 1965 jednostka widnieje w rejestrze Zabytków Kultury i Nauki miasta stołecznego Warszawy. W ogrodzie zatrudnionych jest czterech pracowników naukowo-dydaktycznych, tworzących pracownię naukową jednostki.
- Ogród Botaniczny Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (OB UAM), założony w roku 1922 na ówczesnych obrzeżach miasta, obecnie funkcjonuje jako jednostka ogólnouniwersytecka. Ogród posiada dziesięć działów: alpinarium, biologii roślin, dendrologii, ekologiczny, geografii, roślin ozdobnych, roślin rzadkich i zagrożonych, roślin wodnych i bagiennych, systematyki roślin i szklarnie. Ogród posiada Radę Naukową. Ogród ma powierzchnię 22 ha i zatrudnia dziewięć osób na stanowiskach naukowo-technicznych.
- Ogród Botaniczny Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (OB UMCS), założony w roku 1965 na gruntach folwarku Sławinek, w północno-zachodniej części Lublina. Obecnie jest jednostką ogólnouniwersytecką podległą Rektorowi. Składa się z 12 działów: roślin cebulowych i bulwiastych, arboretum, roślin południowej i południowo-wschodniej Europy, ogrodu biblijnego, flory Polski, alpinarium, roślin ozdobnych, rosarium, systematyki, roślin tropikalnych i subtropikalnych, roślin użytkowych, roślin wodnych i bagiennych oraz ścieżki zmysłów. Ogród posiada Radę Naukową. Ogród UMCS ma powierzchnię 21,25 ha i zatrudnia trzech pracowników naukowo-dydaktycznych.
- Ogród Botaniczny Polskiej Akademii Nauk w Powsinie (OB PAN-CZRB), założony w roku 1974 na południowych rubieżach Warszawy na gruntach dawnego majątku Janówek rodziny Fangorów. Ogród jest naukową jednostką pomocniczą PAN i podlega bezpośrednio jej prezesowi. Składa się z pięciu działów: roślin użytkowych, roślin ozdob-

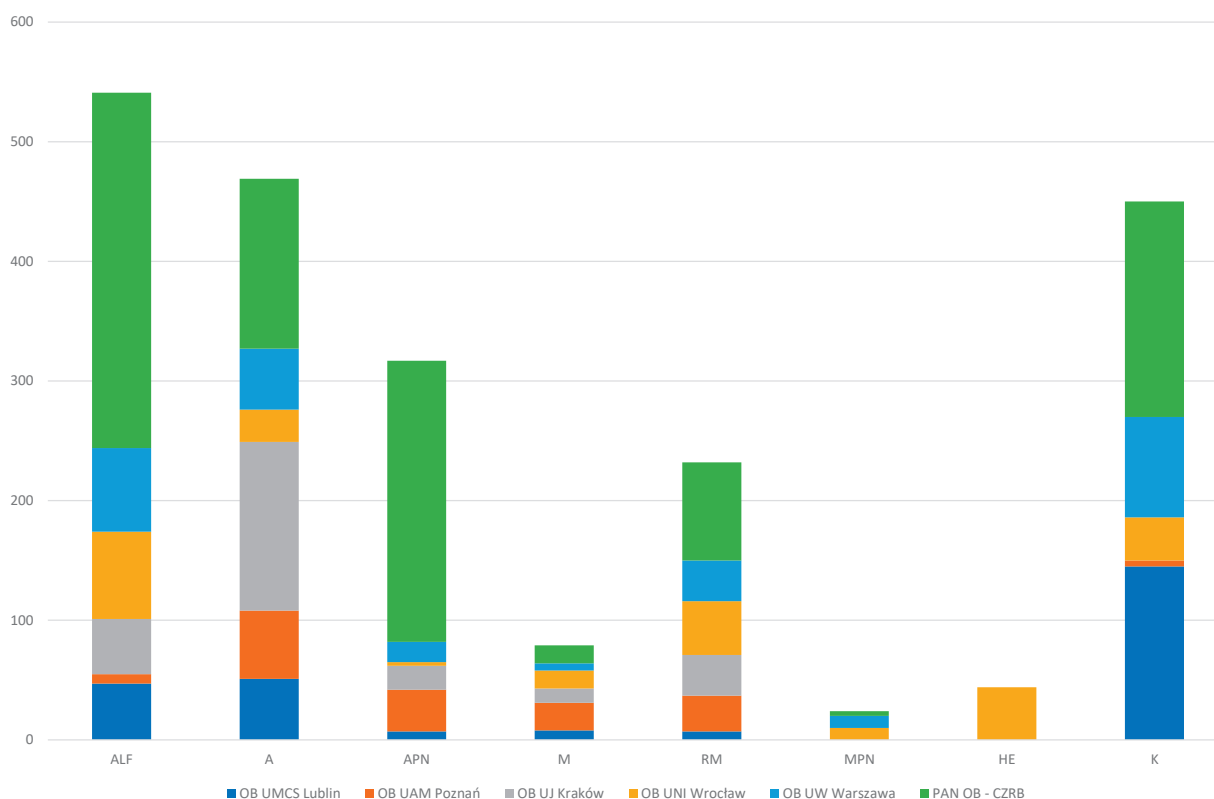
nych, arboretum, flory Polski, roślin tropikalnych. Posiada Radę Naukową. Obejmuje grunty o powierzchni 40 ha i zatrudnia dwanaście osób na stanowiskach naukowo-dydaktycznych. Tworzą oni pracownice botaniki konserwatorskiej, biotechnologii i mikropropagacji oraz ekologii i biologii roślin drzewiastych.

Aby przedstawić osiągnięcia naukowe zespołów badawczych polskich ogrodów botanicznych, dokonano analizy aktywności publikacyjnej, skuteczności w pozyskiwaniu grantów naukowych oraz udostępniania ogrodów do badań prowadzonych przez osoby z zewnątrz. W celu pokazania dynamiki tych aktywności przeanalizowano dane z lat 2001–2022 z wykorzystaniem oficjalnych sprawozdań z działalności ogrodów.

Działalność publikacyjną oceniono na podstawie ogólnie przyjętych kryteriów ewaluacji jakości badań naukowych, tj. z wykorzystaniem wskaźników takich, jak punkty z listy czasopism punktowanych MEiN (sporządzony na podstawie delegacji art. 267 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce; Dz. U. z 2020 r. poz. 85,

z późn. zm.) oraz wartość współczynnika wpływu IF przyjętego za aktualną informacją na stronach domowych czasopism w dniu 05.05.2022 r. Wartość punktową monografii naukowych i rozdziałów w monografiach oceniono na podstawie wykazu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 29 września 2020 r. w sprawie wydawnictw publikujących recenzowane monografie naukowe. Dodatkowo dokonano analizy reprezentowanych dyscyplin w badaniach zespołów naukowych ogrodów botanicznych na podstawie frekwencji słów kluczowych występujących w tytułach publikacji oraz nazw periodyków z listy filadelfijskiej. Graficznie przedstawiono je na diagramach typu word cloud wygenerowanych w programie R.

W celu uzyskania porównywalnych danych w okresie analizowanych 22 lat, przyjęto dla wszystkich publikacji jednolitą punktację na podstawie aktualnych wykazów MEiN. W bazie danych uwzględniono profil publikacyjny jednostek zestawiając artykuły w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej (ALF), pozostałe artykuły recenzowane (A), monografie naukowe (M), rozdziały w monografiach



Ryc. 1. Efektywność i struktura publikacyjna pracowników wybranych ogrodów botanicznych Polski w latach 2001–2022. Objaśnienia: ALF – artykuły w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej (wykaz WoS cc), A – pozostałe artykuły recenzowane, M – monografie naukowe, RM – rozdziały w monografiach naukowych, APN – artykuły popularno-naukowe, MPN – monografie popularno-naukowe, HE – hasła encyklopedyczne, K – publikacje konferencyjne.

naukowych (RM), artykuły popularno-naukowe (APN), monografie popularno-naukowe (MPN) oraz hasła encyklopedyczne (HE). Mając na uwadze rolę ogrodów w upowszechnianiu nauki, przedstawiono także aktywność w zakresie udziału w konferencjach naukowych (K).

Rolę ogrodów we wspieraniu i inspirowaniu badań naukowych przez zespoły zewnętrzne oceniono na podstawie liczby publikacji, które zostały wyselekcjonowane z bazy Web of Science core collection i zawierały słowa „botanic” lub „botanical”, „garden” i „Poland”.

Efektywność naukowa pracowników polskich ogrodów botanicznych

Pracownicy ogrodów botanicznych wybranych do przeprowadzenia oceny efektywności naukowej opublikowali w okresie 2001–2022 łącznie 2118 prac, w tym 529 artykułów w czasopismach wykazanych w Web of Science core collection, 460 innych recenzowanych artykułów naukowych, 315 artykułów popularno-naukowych, 78 monografii naukowych, 218 rozdziałów w monografiach naukowych, 24 monografie popularno-naukowe, 450 publikacji konferencyjnych oraz opracowali 44 hasła encyklopedyczne (Ryc. 1). Sumaryczna wartość punktowa tych prac wynosi 60470.00 pkt (wg listy MEiN), a łączny współczynnik wpływu IF wynosi 1830.092.

Objaśnienia: ALF – artykuły w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej (wykaz WoS cc), A – pozostałe artykuły recenzowane, M – monografie naukowe, RM – rozdziały w monografiach naukowych, APN – artykuły popularno-naukowe, MPN – monografie popularno-naukowe, HE – hasła encyklopedyczne, K – publikacje konferencyjne.

Klasyka i nowoczesność

Trudno jest podać pełną charakterystykę dorobku naukowego badaczy z polskich ogrodów botanicznych. Bez wątplenia na pierwszy plan wybija się biologia konserwatorska, która jako główny cel ma uzyskanie odpowiedzi na pytanie jak skutecznie chronić różnorodność florystyczną i roślinność. Wiele metod czy technik tej dyscypliny włącza także procedury typowe dla fizjologii roślin, biotechnologii oraz ogrodnictwa. Integracja tych różnych dyscyplin i wiedzy daje możliwość podjęcia prób skutecznej ochrony *ex situ*, dokonywania różnego rodzaju działań i eksperymentów. Jest to zresztą zgodne ze strategią BGCI (Botanic Gardens Conservation International), która zachęca do angażowania się ogrodów w działania konserwatorskie, w tym np. tworzenie banków nasion, upraw zachowawczych,

translokacji konserwatorskich siedlisk i populacji, restytucji i wzmacniania populacji, regeneracji siedlisk itp. (Smith i współaut. 2011, Raven i Havens 2014). Dorobek ogrodów botanicznych z ostatnich 22 lat zawiera prace typowo konserwatorskie, dotyczące przykładowo genetycznej struktury polskiej populacji dzwoniecznika wonnego *Adenophora lilifolia* (L.) Besser, inwazji północnoamerykańskiego gatunku trawy *Sporobolus cryptandrus* (Torr.) A.Gray w Europie czy zróżnicowania tzw. długu wymierania w relacji ustępujących roślin i stawonogów (publikowane w Conservation Genetics, Global Ecology and Conservation i Biological Conservation; Vaculná i współaut. 2021, Török i współaut. 2021, Deak i współaut. 2021). Dodatkowo szereg prac dotyczących krajowych problemów ochrony bioróżnorodności, w tym związanych z bankami nasion, morfologią pyłku zagrożonych gatunków lnu *Linum* L., czy ochroną subendemitu środkowoeuropejskiego goździka siniego *Dianthus gratianopolitanus* Vill., zostało opublikowanych w polskim czasopiśmie „Biodiversity: Research and Conservation” (Puchalski i współaut. 2014, Kluza-Wieloch i współaut. 2015, Jańczyk-Węglarska i współaut. 2013). Ważnym osiągnięciem polskich botaników konserwatorskich jest przygotowanie dla innego kraju pierwszej kompleksowej i opartej na aktualnej metodyce IUCN czerwonej listy roślin naczyniowych. Zestawienie ponad 4 260 taksonów występujących naturalnie w Tadżykistanie zostało opublikowane w „Scientific Reports” (Nowak i współaut. 2020). Godne odnotowania są wyniki prac wykonanych w ramach wyjątkowego w skali Europy eksperymentu konserwatorskiego, polegającego na przeniesieniu 3 typów siedlisk (młaki niskoturzycowej, łąki trzęślicowej i wrzosowiska) z rozbudowywanego lotniska w Pyrzowicach, na nieodległe obszary byłych wyrobisk wapienia w Radzionkowie. W utworzonym nowoczesnym ogrodzie siedliskowym prowadzony jest monitoring kompozycji gatunkowych zbiorowisk oraz warunków życia roślin. W wyniku tych obserwacji powstały prace dotyczące zmian różnorodności funkcjonalnej i trwałości naturalnej kompozycji, opublikowane w „Urban Forestry and Urban Greening”, „Land Degradation and Development” i „Ecological Engineering” (Nowak i współaut. 2015, Świerszcz i współaut. 2019a,b). Istotny dla środowiska botanicznego jest także artykuł poświęcony polskim kriobankom w ochronie bioróżnorodności, opublikowany w jubileuszowym numerze „Acta Societatis Botanicorum Poloniae” (Zimnoch-Guzowska i współaut. 2022).

Z pewnością do wyróżniających się osiągnięć w dorobku polskich ogrodów botanicznych są odkrycia w obszarze interakcji grzybów z roślinami.

Temat ten jest jednym z wiodących w ogrodzie Uniwersytetu Warszawskiego i wraz z publikacjami o ekologii zapylania przyczynia się istotnie do międzynarodowej rozpoznawalności i uznania dorobku zespołów badawczych polskich ogrodów (Zych i współaut. 2013, Boczoń i współaut. 2021, Jaroszewicz i współaut. 2021, Roguz i współaut. 2021).

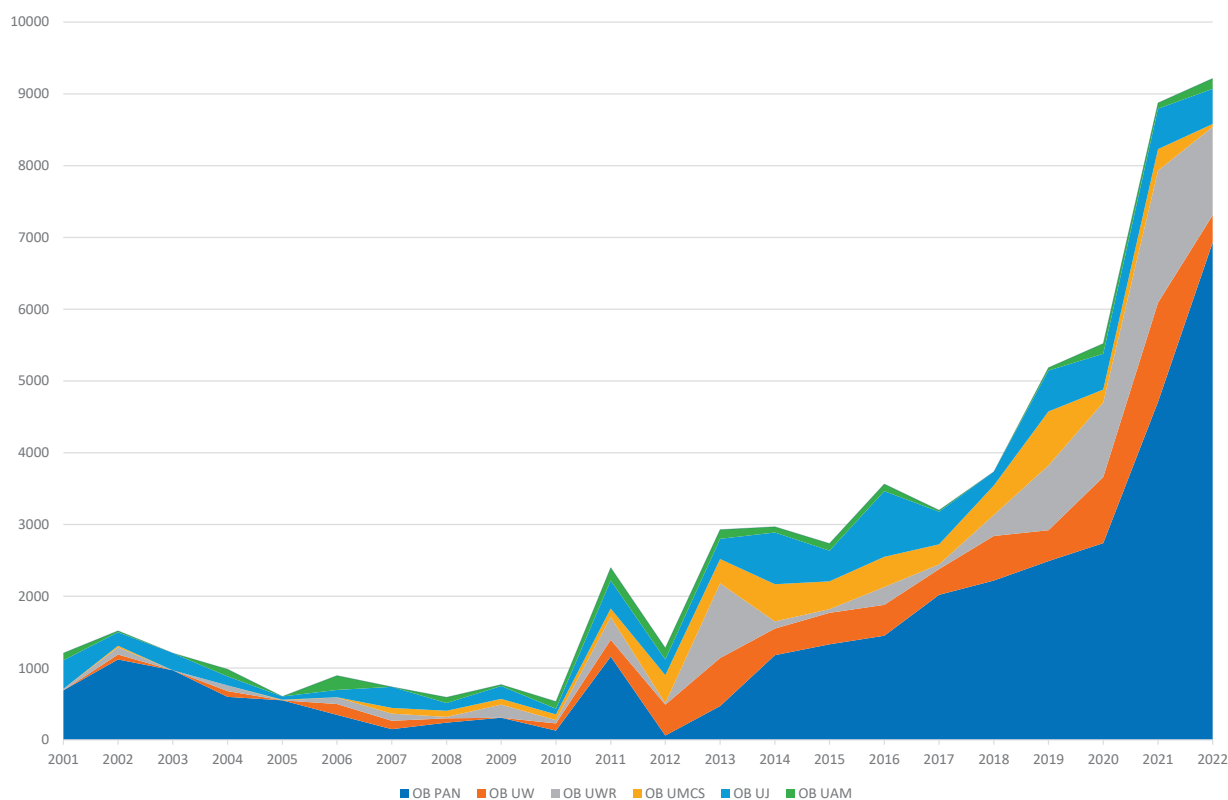
Kolejnym ważnym tematem badawczym realizowanym przez naukowców polskich ogrodów botanicznych jest ekologia, syntaksonomia i wartość konserwatorska oraz gospodarcza traworośli. Prace powstałe w ogrodzie wrocławskim dotyczą m.in. sformalizowanej klasyfikacji muraw kserotermicznych w Europie (Willner i współaut. 2019), zróżnicowania zbiorowisk roślinnych Polski (Kącki i współaut. 2013, Kącki i współaut. 2020) oraz wpływu sposobu użytkowania na biomasa łąk zmiennowilgotnych (Meserszmit i współaut. 2019), a także znaczenia trwałości siedliska, struktury przestrzennej i czynników makroekologicznych łąk dla ich bogactwa gatunkowego lub inwazyjności gatunków obcych (Czarniecka-Wiera i współaut. 2020, Raduła i współaut. 2020, Raduła i współaut. 2022).

Bardzo zróżnicowany i bogaty jest dorobek ogrodu botanicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego. Obok prac o charakterze historycznym, dokumen-

tujących rozwój badań botanicznych na ziemiach polskich (np. Zemanek i Köhler 2016, Kapała 2019), warto wspomnieć o pracach z zakresu lichenologii (np. Węgrzyn i współaut. 2020, Węgrzyn i współaut. 2021), paleoekologii (Barbacka i współaut. 2016), biogeologii (Drewniak i współaut. 2016) czy etnobotaniki (Kujawska i współaut. 2017).

Znaczący jest także wkład ogrodów w badania związków aktywnych biochemicznie, które mogą być wykorzystywane w medycynie. Prace te prowadzone są z powodzeniem od wielu lat w ogrodzie UMCS w Lublinie (np. Strzemiński i współaut. 2021).

Powyższe prace wykorzystują różne metody, od klasycznych i opisowych do bardzo nowoczesnego modelowania i metod molekularnych. Zarówno w jednym jak i w drugim podejściu można doszukać się pozycji uznanych za bardzo wartościowe. Wśród nich wymienić należy choćby klasyczną przeglądówkę, dotyczącą wiedzy o wzroście naczyni drewna, opublikowaną w „Biological Reviews” (200 pkt. MEiN, IF=14,350; Miodek i współaut. 2021), czy jedną z nielicznych prac dotyczących podziemnej różnorodności florystycznej zbiorowisk traworoślowych, w której zastosowaną metabarkodując wielu loci do identyfikacji gatunków (200 pkt MEiN, IF=6,576; Rucińska i współaut. 2022). To, że naj-



Ryc. 2a. Skumulowany warstwowy diagram dorobku wybranych polskich ogrodów botanicznych w latach 2001–2022 wyrażonych punktacją MEiN zgodną z wykazem czasopism z dnia 05 maja 2023 r. wraz ze średnią arytmetyczną wszystkich ogrodów.

wyższe wartości wskaźników naukometrycznych mogą osiągać tylko prace wykorzystujące nowoczesne metody, takie jak modelowanie czy techniki molekularne, okazało się nieprawdą. Szczególnym przykładem jest typowo opisowa praca z zakresu etnobotaniki o zachowaniu i wykorzystaniu roślin użytkowych w hotspocie różnorodności biologicznej Gór Centralnej Azji, która ukazała się także w prestiżowym czasopiśmie „Agronomy for Sustainable Development” (200 pkt. MEiN, IF=7.832; Kotowski i współaut. 2022a). Łącznie w okresie ocenianym autorzy zatrudnieni w wybranych sześciu ogrodach botanicznych opublikowali 27 prac o wartości 200 pkt. MEiN, przy czym warto zauważyć, że wszystkie, z wyjątkiem jednej, ukazały się w ostatnich czterech latach. Świadczy to o dużym potencjale, dynamicznym rozwoju zespołów ogrodów i aktualności podejmowanej tematyki.

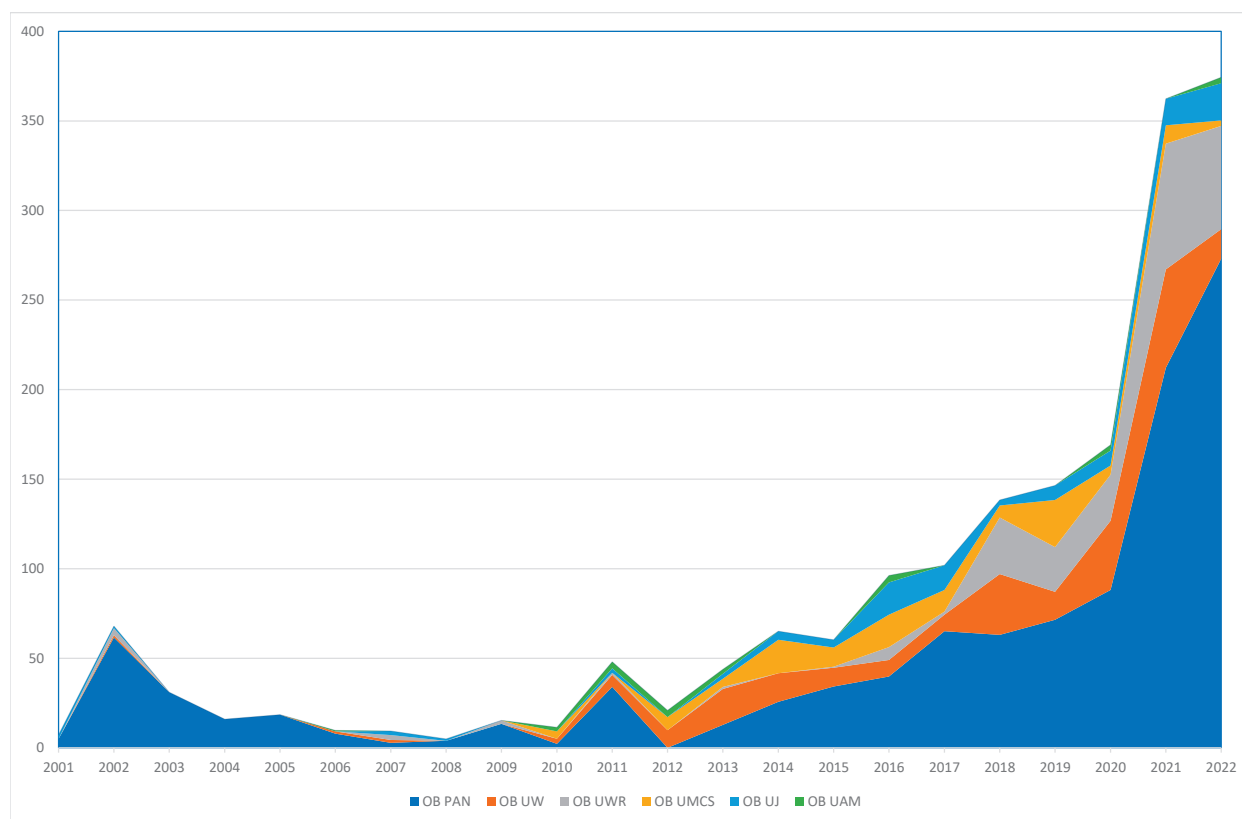
Dynamika aktywności naukowej i jej różnorodność

O jakości działalności naukowej świadczą dobre publikacje, zarówno te w formie artykułów, jak i monografii. Oczywiście trudno ocenić wszystkie prace, tym bardziej, że na przestrzeni analizowanych 22

lat powstało ich ponad dwa tysiące. Z tego względu jesteśmy zmuszeni ocenić dynamikę dorobku na podstawie uproszczonej oceny wartości punktowej i „impaktowej” artykułów zdając sobie sprawę, że jest to metoda daleka od doskonałości.

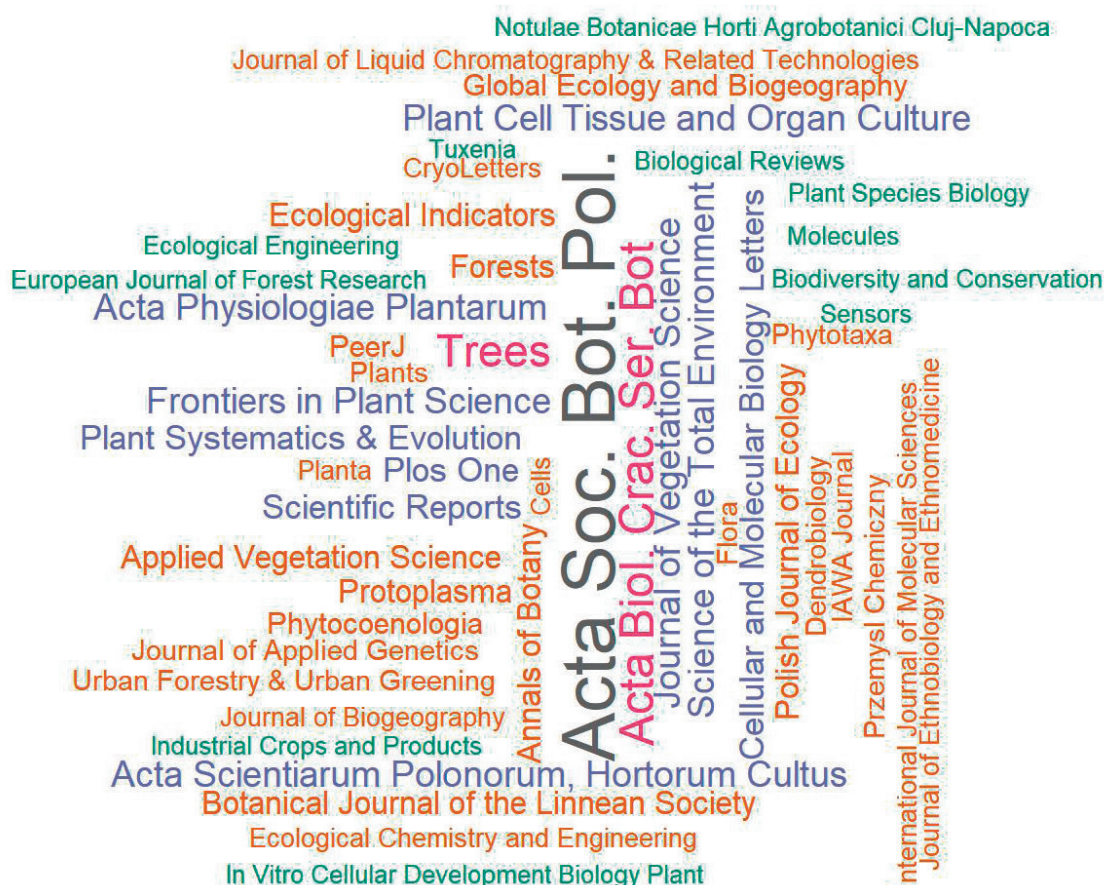
Naukowcy ogrodów botanicznych zawsze publikowali wartościowe artykuły, nawet w czasach, kiedy znaczenie wskaźników naukometrycznych nie było istotne. Już w pierwszych 5 latach analizowanego okresu ukazało się 19 prac ocenianych według aktualnych kryteriów na co najmniej 100 pkt, w tym niektóre z IF powyżej 10, np. w „New Phytologist” o przebudowie komórek inicjalnych kambium u glicynii kwiecistej *Wisteria floribunda* (Willd.) DC (Kojs i współaut. 2004). Jednak w ostatnich kilku latach nastąpił zdecydowany wzrost liczby prac i ich wartości punktowej (Ryc. 2a, 2b).

Prac o wartości 140 i 200 pkt jest w dorobku ogrodów łącznie 93, prac z IF powyżej 5 jest 115, a powyżej 10–18. Kilka artykułów zostało opublikowanych w czasopismach z IF powyżej 14 w „Biological Reviews” (Erdős i współaut. 2022, Miodek i współaut. 2021) i „Journal of Hazardous Materials” (Dmuchowski i współaut. 2011). Wiele pozycji zostało opublikowanych w renomowanych czasopismach o długiej tradycji i wysokim prestiżu w międzyna-



Ryc. 2b. Skumulowany warstwowy diagram dorobku wybranych polskich ogrodów botanicznych w latach 2001–2022 wyrażonych współczynnikiem wpływu (IF) aktualnym na dzień 05.05.2023 r. wraz ze średnią arytmetyczną wszystkich ogrodów.

Ogrody botaniczne są także miejscem przygotowywania licznych monografii naukowych. Do najważniejszych z nich, które zostały opublikowane po 2000 roku należą m.in. „Atlas turzyc z kluczami do oznaczania gatunków” (Sikorski i współaut. 2020), „Użyteczne rośliny tropików. Szkice etnobotaniczne” (Węglarski i Węglarska 2008), „Rośliny dalekiej Azji. Szkice etnobotaniczne” (Węglarski i Węglarska 2006), „Illustrated flora of Tajikistan and adja-



Ryc. 3. Zróżnicowanie tytułów periodyków z recenzowanymi artykułami naukowymi z listy WoScc, publikującymi wyniki prac zespołów badaczy wybranych ogrodów botanicznych (OB UJ, OB UW_r, OB UW, OB UAM, OB UMCS, OB PAN-CZRB) w latach 2001–2022.

wy poziom konsumpcji, niszczenie i fragmentacja siedlisk, zanieczyszczenia środowiska i inne oddziaływania antropogeniczne są niewątpliwie ważne, ale botanicy nie posiadają pełnych kompetencji do ich badania. Mamy natomiast kompetencje w zakresie: badań populacyjnych, taksonomicznych, syntaksonomicznych, florystycznych, konkurencji międzygatunkowej czy międzyosobniczej, pasożytnictwa, efektywności kiełkowania, jakości nasion, plenności, rekrutacji w zbiorowiskach, tworzenia nowych siedlisk, tzw. novel habitats, reakcji na zgryzanie, mutualizmów, symbioz, efektywności zapylania, czy w ogóle rozmnażania generatywnego i wegetatywnego, heterozygotyczności, samosterylności, odporności na zaburzenia, krioprezerwacji, reakcji na stres środowiskowy, wpływu patogenów, sposobów dyspersji i propagacji, polimorfizmu allelicznego, podziemnej różnorodności biologicznej, w tym glebowego banku nasion, metod kultywacji i translokacji konserwatorskich populacji i siedlisk, delimitacji obszarów chronionych, utrzymywania upraw zachowawczych *ex situ* i wielu innych zjawisk, procesów i procedur, które mają znaczenie w zachowaniu dziedzictwa szaty roślinnej świata (np. Stevens 2009, Primack i współaut. 2021). Wśród tych zagadnień wiele pytań wciąż czeka na odpowiedź.

Z pewnością przyszłość badań w ogrodach botanicznych powinna wypełniać wciąż istotne luki w ochronie *ex situ* gatunków zagrożonych. Jedną z najważniejszych jest przeoczenie roślin zarod-

nikowych w uprawie i krioprezerwacji, co wynika po części ze specyfiki ich biologii, choć nie jest to wystarczające usprawiedliwienie. Wśród mszaków zaledwie niecałe 5% rodzajów jest zabezpieczonych w kolekcjach *ex situ* i bankach tkanek (dla porównania roślin okrytonasiennych 63%, a nagonasiennych 97%; Raven i Havens 2014). Jeszcze gorzej jest z zabezpieczeniem mszaków uznanych za zagrożone, choć tworzenie takiej kolekcji zostało rozpoczęte w Ogrodzie Botanicznym Uniwersytetu Wrocławskiego, który uzyskał zgodę Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska we Wrocławiu na zbiór mszaków z zagrożonych siedlisk na Dolnym Śląsku. Spośród i tak mocno zaniżonej liczby 12,2% ustępujących lub skrajnie rzadkich mszaków na świecie, tylko 2,6% jest zabezpieczonych w kolekcjach *ex situ* w ogrodach botanicznych świata (Mounce i współaut. 2017). Ten wymowny przykład dziwi tym bardziej, jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że to właśnie w ogrodach botanicznych opracowano metody i procedury mikropropagacji, somatycznej embriogenezy i krioprezerwacji roślin zarodnikowych (Mikuła i współaut. 2009, Mikuła i współaut. 2015).

Również grzyby mogą znaleźć swoje miejsce w ogrodach botanicznych – zarówno dosłownie, jako elementy kolekcji, ale także jako obiekty badawcze. Przykładowo, zespół mykologów z Ogrodu Botanicznego UW śledzi interakcje grzybowe z innymi organizmami, a w szczególności owadami. Natomiast w Ogrodzie Botanicznym UW wykonana została praca doktorska i prowadzony jest monito-



Ryc. 5. Schemat blokowy dyscyplin, w których osadzone były projekty badawcze realizowane na terenie ogrodów botanicznych Polski w latach 2001–2022. (według Web of Science cc, N=77).

ring grzybów wielkoowocnikowych (Halama 2009). Naukowcy interesują się m.in. przedstawicielami rodzaju *Entomortierella* Vandepol & Bonito, często izolowanymi ze stawonogów lub ich miejsc gniazdowania, a zwłaszcza mrówek i mrowisk. Badania mają ujawnić, czy grzyby mogą służyć jako cenny suplement diety dla mrówek i czy znajdują w mrowiskach niszę wolną od konkurencji. Inne projekty dotyczą bardzo różnorodnej grupy ektopasożytów i komensali owadów z rzędu Laboulbeniomycotina. Przedstawiciele tej grupy można zobaczyć np. na pokrywach skrzydłowych chrząszczy biegaczowatych i kusakowatych, czy odwłokach i czułkach mrówek. Nie jest jasne ani jak odżywiają się te grzyby, ani jaki jest ich realny wpływ na dostosowanie gospodarza. Badania mykologiczne mają także elementy aplikacyjne i dotyczą konsorcjów grzybowych i bakteryjnych biorących udział w rozkładzie materii organicznej. Zrozumienie tych procesów i wyodrębnienie taksonów, które najszybciej prowadzą do mineralizacji konkretnej materii roślinnej, może być wartościowym wkładem nauki w zrównoważony rozwój.

Dużą zaletą badań w ogrodach jest fakt, że nauka jest w nich uprawiana często niemal na oczach tysięcy osób. Projekty dotyczące interakcji roślinna-

-zapyłaczce czy transportu pyłku w tkance miejskiej realizowane przez zespół z Ogrodu Botanicznego UW toczyły się w ścisłym centrum stolicy i były obserwowane przez tysiące przechodniów (Ryc. 6; Roguz i współaut. 2023). To daje możliwość współuczestnictwa i wciągania społeczeństwa do działań badawczych w ramach chociażby nauki obywatelskiej, tzw. citizen science. Ogrody mogą stać się centrami badań włączających obywateli w zakresie podstawowego rozpoznania różnorodności i chorologii dla wielu gatunków roślin i grzybów, a nawet zwierząt (np. ogólnopolska akcja Ptakoliczenie). Znane są już od lat odnoszące sukcesy inicjatywy w tym zakresie dotyczące grzybów wielkoowocnikowych, roślin polnych czy gatunków inwazyjnych (np. Tsiamis i współaut. 2017). Ogrody mogą też być znakomitą trampoliną promocyjną tego typu projektów badawczych.

Przedstawione w pracy problemy i metody badawcze powinny być dalej rozwijane przez biologów, ekologów i ogrodników, a także zainteresowanych obywateli—amatorów przyrodoznawstwa. Dzięki temu, dorobek naukowy polskich ogrodów botanicznych będzie dalej się zwiększał ilościowo i jakościowo. Gdyby zbiór publikacji afiliowany przy ogrodach botanicznych przeliczyć na osoby, a przede wszystkim na środki finansowe, które są przyznawane ogrodom na naukę, to bez wątpienia jednostki te plasują się w czołówce polskich instytucji badawczych. Przyszłość nauki jest bez wątpienia bliżej społeczeństwa, które finansuje badania z podatków. Nie mamy wątpliwości, że w tym kontekście, jeśli politycy i urzędnicy uczciwie rozdysponują środki na naukę, polskie ogrody botaniczne rozwiną się w kolejnym okresie renesansu z pożytkiem dla nauki, instytucji i społeczeństwa, które znajdzie tu interesujące miejsca edukacji, rekreacji i wypoczynku.

LITERATURA

- Antonelli, A., Fry C., Smith R.J., Simmonds M.S.J., Kersey P.J. i współaut., 2020. *State of the world's plants and fungi 2020*. Kew: Royal Botanic Gardens.
- Barbacka M., Popa M. E., Mitka J., Bodor E., Püspöki Z. i współaut., 2016. *A quantitative approach for identifying plant ecogroups in the Romanian Early Jurassic terrestrial vegetation*. *Palaeogeogr Palaeoclimatol, Palaeoecol* 446, 44–54.
- Boczoń A., Hilszczańska D., Wrzosek M., Szczepkowski A., Sierota Z., 2021. *Drought in the forest breaks plant–fungi interactions*. *Eur J For Res* 140, 1301–1321.



Ryc. 6. Badania interakcji roślina-zapyłaczce w centrum Warszawy. Autorka: Katarzyna Roguz.

- Chen G., Sun W., 2018. *The role of botanical gardens in scientific research, conservation, and citizen science*. Plant Diversity 40: 181–188.
- Czarnecka-Wiera M., Szymura T.H., Kącki Z., 2020. *Understanding the importance of spatial scale in the patterns of grassland invasions*. Science of the Total Environment, 727, 138669.
- Deak B., Bede A., Radai Z., Tothmeresz B., Török P. i współaut., 2021. *Different extinction debts among plants and arthropods after loss of grassland amount and connectivity*. Biol Conserv 264, 109372.
- Denisow B., Antoń S., Szymczak G., 2013. *The flowering, pollen production, and insect visitors in the ornamental shrub Potentilla fruticosa L. (Rosaceae)*. J Apic Sci 57, 95–106.
- Dmuchowski W., 2005. *Levels of air pollution by heavy metals*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Dmuchowski W., Gozdowski D., Baczewska A.H., 2011. *Comparison of four bioindication methods for assessing the degree of environmental lead and cadmium pollution*. J Hazard Mater 197, 109–118.
- Drewnik M., Musielok Ł., Stolarczyk M., Mitka J., Gus M., 2016. *Effects of exposure and vegetation type on organic matter stock in the soils of subalpine meadows in the Eastern Carpathians*. Cate-na 147, 167–176.
- Dudkiewicz M., Durlak W., 2021. *Sustainable Management of Very Large Trees with the Use of Acoustic Tomography*. Sustainability 13, 12315.
- Erdős L., Török P., Veldman J.W., Bátori Z., Bede-Fazekas Á. i współaut., 2022. *How climate, topography, soils, herbivores, and fire control forest–grassland coexistence in the Eurasian forest-steppe*. Biol Rev 97, 2195–2208.
- Halama M., 2009. *Grzyby wielkoowocnikowe wybranych obiektów zieleni Wrocławia*. Praca doktorska, Instytut Biologii Roślin, Uniwersytet Wrocławski (manuskrypt).
- Hill A.W., 1915. *The History and Functions of Botanic Gardens*. Ann Mo Bot Gard 2, 185–240.
- Jackson P.W., Kennedy K., 2009. *The Global Strategy for Plant Conservation: a challenge and opportunity for the international community*. Trend Plant Sci. 14, 578–580.
- Janiak A., Galej K., Parusel J.B., Szarejko I., 2014. *A study of the genetic variation of the aquatic fern Marsilea quadrifolia L. preserved in botanical collections in Poland and originated from natural populations in Europe*. Flora 209, 655–665.
- Jańczyk-Węglarska J., Węglarski K., 2014. *Dianthus gratianopolitanus Vill. Goździk siny*. Instytut Ochrony Przyrody Polska Akademia Nauk.
- Jańczyk-Węglarska J., Węglarski K., Danielewicz W., Wiland-Szymańska J., 2013. *Poison ivy (Toxicodendron radicans (L.) Kuntze- Anacardiaceae)—an invasive species, dangerous for the health of workers of botanical gardens and arboreta in Poland*. Biodiversity: Research and Conservation, Supplement 1, 51.
- Jaroszewicz B., Cholewińska O., Checko E., Wrzosek M., 2021. *Predictors of diversity of deadwood-dwelling macrofungi in a European natural forest*. Forest Ecol Manag 490, 119–123.
- Kapała K., 2019. *Obrazy roślinności Królestwa Polskiego* redagowane przez Zygmunta Wóycickiego. Kwart Hist Nauki Tech 2, 149–166.
- Kącki Z., Czarnecka M., Swacha G., 2013. *Statistical determination of diagnostic, constant and dominant species of the higher vegetation units of Poland*. Monographiae Botanicae, 103, 1–274.
- Kącki Z., Swacha G., Lengyel A., Korzeniak J., 2020. *Formalized Hierarchically Nested Expert System for Classification of Mesic and Wet Grasslands in Poland*. Acta Soc Bot Pol 89, 4.
- Kluza-Wieloch M., Maciejewska-Rutkowska I., Wójtowicz W., Wiland-Szymańska J., 2015. *Pollen morphology of rare species of Linum L. (Linaceae) from Poland*. Biodiversity: Research and Conservation 40, 1–12.
- Kojs P., Rusin A., Iqbal M., Włoch W., Jura J., 2004. *Readjustments of cambial initials in Wisteria floribunda (Willd.) DC. for development of storeyed structure*. New Phytol 163, 287–297.
- Kolicka M. 2019. *Gastrotricha—not only in sediments: new epiphytic species of Chaetonotida from the Jubilee Greenhouse of the Botanical Garden in Kraków*. Eur J Taxon 511, 1–100.
- Kosinski I., Galera H., Chwedorzewska K.J., 2009. *The morphological variability of Convallaria majalis L. in natural and cultivated populations in three regions of Poland*. Polish J Ecol 57, 473–482.
- Kotowski M.A., Świerszcz S., Khoury C.K., Laldjebaev M., Palavonshanbieva B. i współaut., 2022a. *The primal garden: Tajikistan as a biodiversity hotspot of food crop wild relatives*. Agron Sustain Dev 42, 1–14.
- Kotowski M.A., Laldjebaev M., Palavonshanbieva B., Sodatsairov A., Nowak A., 2022b. *Tadżycki tygiel. Odbicie natury Azji Środkowej w kulturze kulinarnej Tadżykistanu*. Polska Akademia Nauk Ogród Botaniczny—CZRB, Powsin.
- Kujawska M., Klepacki P., Łuczaj Ł., 2017. *Fischer's «Plants in folk beliefs and customs»: a previously unknown contribution to the ethnobotany of the Polish-Lithuanian-Belarusian borderland*. J Ethnobiol Ethnomed 13, 20.

- Marcinkowski J., 2002. *Byliny ogrodowe – produkcja i zastosowanie*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Masierowska M., Stawiarz E., Rozwałka R., 2018. *Perennial ground cover plants as floral resources for urban pollinators: A case of Geranium species*. Urban For Urban Gree 32, 185–194.
- Meserszmit M., Chrabąszcz M., Chylińska M., Szymańska-Chargot M., Trojanowska-Olichwer A. i współaut., 2019. *The effect of harvest date and the chemical characteristics of biomass from Molinia meadows on methane yield*. Biomass Bioenergy 130, 105391.
- Micholap P., Kelm M., Sikora A., 2018. *Potential of an algorithm in assessing attractiveness of flowering plants to bumblebees (Hymenoptera: Apidae) and their subsequent protection as pollinators*. J Entomol Sci 53, 251–267.
- Mikuła A., Jata K., Rybczyński J.J., 2009. *Cryopreservation strategies for Cyathea australis (R. Br.) Domin*. CryoLetters 30, 429–439.
- Mikuła A., Pożoga M., Grzyb M., Rybczyński J.J., 2015. *An unique system of somatic embryogenesis in the tree fern Cyathea delgadii Sternb. – the importance of explant type, and physical and chemical factors*. Plant Cell Tiss Org 123, 467–478.
- Miodek, A., Gizińska A., Włoch W., Kojs P., 2021. *What do we know about growth of vessel elements of secondary xylem in woody plants?* Biol Rev 96, 2911–2924.
- Mostowska A., Rostański A., Mikuła A., 2022. *Polskie Towarzystwo Botaniczne w setną rocznicę powstania (1922–2022)*. Polskie Towarzystwo Botaniczne, Warszawa.
- Mounce R., Smith P., Brockington S., 2017. *Ex situ conservation of plant diversity in the world's botanic gardens*. Nat Plants 3, 795–802.
- Nowak A., Nobis M. (red.), 2020. *Illustrated flora of Tajikistan and adjacent areas*. Wyd. Polska Akademia Nauk, Polskie Towarzystwo Botaniczne, Warszawa.
- Nowak A., Maślak M., Góra J., Smieja A., Kojs P. i współaut., 2019. *Translocation of meadow, heath and fen to the Habitat Garden: the first insights after four years of experiment*. Appl Veg Sci 22(1), 3–12.
- Nowak A., Świerszcz S., Nowak S., Hisorev H., Klichowska E. i współaut., 2020. *Red List of vascular plants of Tajikistan – the core area of the Mountains of Central Asia global biodiversity hotspot*. Sci Rep 10, 6235.
- Nowak A., Świerszcz S., Naquinezhad A., Aleksanyan A., Fayvush G. i współaut., 2022. *Is the vegetation archetype of the Garden of Eden located in the Irano-Turanian region and safe against climate change?* Reg Environ Change 22, 75.
- Piątek M., 2003. *Chionanthus (Oleaceae), a new host genus for the powdery mildew Phyllactinia fraxini (Erysiphaceae)*. Nova Hedwigia 77, 379–381.
- Primack R.B., Ellwood E.L., Gallinat A.S., Miller-Rushing A.J., 2021. *The growing and vital role of botanical gardens in climate change research*. New Phytol 231, 917–932.
- Puchalski J., Niemczyk M., Walerowski P., Podyma W., Kapler A., 2014. *Seed banking of Polish endangered plants – the FlorNatur Project*. Biodiversity Research and Conservation 34, 65–72.
- Raduła M.W., Szymura T.H., Szymura M., Swacha G., Kącki Z.K., 2020. *Effect of environmental gradients, habitat continuity and spatial structure on vascular plant species richness in semi-natural grasslands*. Agr Ecosyst Environ 300, 106974.
- Raduła M.W., Szymura T.H., Szymura M., Swacha G., 2022. *Macroecological drivers of vascular plant species composition in semi-natural grasslands: A regional study from Lower Silesia (Poland)*. Sci Total Environ 833, 155151.
- Raven, P., Havens, K., 2014. *Ex situ plant conservation and cryopreservation: breakthroughs in tropical plant conservation*. Int J Plant Sci 175, 1–2.
- Roguz K., Chiliński M., Roguz A., Zych M., 2023. *Pollination of urban meadows – plant reproductive success and urban-related factors influencing frequency of pollinators visits*. Urban For Urban Gree 84, 127944.
- Roguz K., Hill L., Koethe S., Lunau K., Roguz A. i współaut., 2021. *Visibility and attractiveness of Fritillaria (Liliaceae) flowers to potential pollinators*. Sci Rep 11, 11006.
- Rucińska A., Świerszcz S., Nobis M., Zubek S., Boczkowska M. i współaut., 2022. *Is it possible to understand a book missing a quarter of the letters? Unveiling the belowground species richness of grasslands*. Agr Ecosyst Environ 324, e107683.
- Rybczyński J.J., Daves M., Mikuła A., 2014. *The Gentianaceae: Characterization and ecology*. Springer, Heidelberg, New York, Dordrecht, London.
- Sikorski P., Sudnik-Wójcikowska B. (red.), Rutkowski L., Cwener A., Wierzba M., Krechowski J., Sikorska D., 2020. *Atlas turzyc z kluczami do oznaczania gatunków*. MULTICO Oficyna Wydawnicza.
- Smith P., Dickie J., Linington S., Probert R., Way M., 2011. *Making the case for plant diversity*. Seed Sci Res 21, 1–4.
- Sparks T.H., Górską-Zajączkowska M., Wójtowicz W., Tryjanowski P., 2011. *Phenological changes and reduced seasonal synchrony in western Poland*. Int J Biometeorol 55, 447–453.

- Stevens A.-G., 2009. *Botanical Gardens and their Role in ex situ Conservation and Research*. Phytton 46, 211–214.
- Strzałkowska-Abamek M., Jachula J., Wrzesień M., Bożek M., Dąbrowska A. i współaut., 2018. *Nectar production in several Campanula species (Campanulaceae)*. Acta Sci Pol-Hortoru 17, 127–136.
- Strzemiński M., Dzida K., Dresler S., Sowa I., Kurzepa J. i współaut., 2021. *Nitrogen fertilisation decreases the yield of bioactive compounds in Carlina acaulis L. grown in the field*. Ind Crop Prod 170, e113698.
- Świerszcz S., Nowak S., Kojs P., Nobis M., Nowak A., 2019a. *Functional diversity of different vegetation types does not respond homogeneously to change over time after conservation translocation from a rural landscape to an urbanized one*. Urb For Urb Gree 41, 323–332.
- Świerszcz S., Nobis M., Maślak M., Smieja A., Kojs P. i współaut., 2019b. *Varied response of underground and aboveground plant matter: functional diversity of three different vegetation types after translocation to reclaimed postindustrial land*. Land Degrad Dev 30(18), 2287–2297.
- Török P., Schmidt D., Batori Z., Aradi E., Kelemen A. i współaut., 2021. *Invasion of the North American sand dropseed (Sporobolus cryptandrus) – A new pest in Eurasian sand areas?* Global Ecol Conserv 32, e01942.
- Tsiamis K., Gervasini E., D'amico F., Deriu I., Roglia E. i współaut., 2017. *Citizen Science Application, Invasive Alien Species in Europe*. EUR 28441 EN. Publications Office of the European Union.
- Werblan-Jakubiec H., Zych M., 2007. *Rola ogrodów botanicznych w badaniach nad bioróżnorodnością*. Wszechświat 108, 187–190.
- Węglarski K., Węglarska J., 2008. *Użyteczne rośliny tropików. Szkice etnobotaniczne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Węglarski K., Węglarska J., 2006. *Rośliny dalekiej Azji. Szkice etnobotaniczne*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Węgrzyn M.H., Kołodziejczyk J., Fałowska P., Wężyk P., Zięba-Kulawik K. i współaut., 2020. *Influence of the environmental factors on the species composition of lichen Scots pine forests as a guide to maintain the community (Bory Tucholskie National Park, Poland)*. Global Ecol Conserv 22, e01017.
- Węgrzyn M.H., Fałowska P., Kołodziejczyk J., Alzayany K., Wężyk P. i współaut., 2021. *Tree height as the main factor causing disappearance of the terricolous lichens in the lichen Scots pine forests*. Sci Total Environ 771, 144834.
- Willner W.W., Roleček J.R., Korolyuk A.K., Dengler J., Chytrý M.Ch. i współaut., 2019. *Formalized classification of semi-dry grasslands in central and eastern Europe*. Preslia 91, 25–49.
- Vaculná L., Majeský L., Ali T., Seregin A.P., Prausová R. i współaut., 2021. *Genetic structure of endangered species Adenophora liliifolia and footprints of postglacial recolonisation in Central Europe*. Conserv Genet 22, 1069–1084.
- Zemanek A., Köhler P., 2016. *Historia Ogródu Botanicznego Uniwersytetu Stefana Batorego w Wilnie (1919–1939)*. Studia Historiae Scientiarum 15, 301–345.
- Zimnoch-Guzowska E., Chmielarz P., Wawrzyniak M.K., Plitta-Michalak B.P., Michalak M. i współaut., 2022. *Polish cryobanks for plant genetic resources conservation*. Acta Soc Bot Pol 91, 9121.
- Zych M., Stpiczyńska M., Roguz K., 2013. *Reproductive biology of the Red-list Polemonium caeruleum L. (Polemoniaceae)*. Bot J Linn Soc 173, 92–107.
- Zych M., Kącki Z., Kojs P., Matynia D., Nowak A. i współaut., 2023. *Ogrody botaniczne we współczesnym świecie*. Kosmos 2: 31–46.

